

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1401.8.1.4.2](https://doi.org/10.24767/131.1401.8.1.4.2)

درصد همانندی: ۵٪

ارزیابی عملکرد روش پردازش تصویر در تخمین میزان غلظت رسوبات معلق سطحی در مناطق ساحلی

آزاده ولی پور^{۱*}، حسین شیرگاهی^۲

a.valipour@yahoo.com

Hossein.shirgahi@gmail.com

^۱ نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جویبار

^۲ استادیار، گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جویبار

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

چکیده

سنجش میزان غلظت رسوبات در سواحل در راستای تحقق طرح‌های مدیریت سواحل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و جریان‌های ساحلی خصوصاً جریان‌هایی که در اثر شکست امواج در سواحل میانه ایجاد می‌شوند، یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در انتقال رسوبات و انتشار آلودگی‌ها در دریاها و محیط‌های ساحلی محسوب می‌شوند. در این تحقیق در مرحله نخست الگوی پیچیده این جریان‌ها در سواحل با حالت میانه در شرایط آزمایشگاهی اجرا شد. سپس با استفاده از روابط تجربی حاکم، غلظت رسوبات در هر اجرا تحت مکانیزم تعلیق رسوبات در اثر حرکت تلاطمی ناشی از امواج شکست یافته مورد محاسبه قرار گرفت. در گام بعدی با استفاده از اصول پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب ویژگی‌های رنگی تصاویر در اعماق و شرایط هیدرودینامیکی مختلف جهت تخمین میزان غلظت رسوبات معلق استخراج شد. نتایج اصلی این تحقیق بیانگر همبستگی بالای ویژگی‌های رنگی تصاویر بر اساس الگوریتم‌های ارائه شده در مدل‌های RGB و Grayscale با میزان غلظت رسوبات منطقه است. دقت نتایج ارائه شده در بخش‌های مختلف منطقه نزدیک به ساحل گویای این واقعیت است که از دقت نتایج مدل با حرکت به سمت صورت ساحل کاسته می‌شود و بیشترین برازش ویژگی‌های تصاویر و میزان غلظت رسوبات در ناحیه کم عمقی رؤیت شده است.

کلمات کلیدی: غلظت رسوبات معلق، سواحل میانه، پردازش تصویر، منطقه نزدیک به ساحل، ناحیه کم عمقی

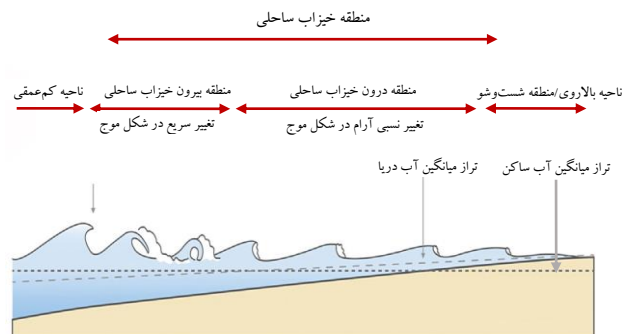
۱. مقدمه

منطقه ساحلی^۱ مکانی است که برهمکنش‌های هیدرودینامیکی، رسوب شناختی در آن روی می‌دهد، این برهمکنش‌ها موجب تغییرات کلی ساحل شامل تغییرات غلظت رسوبات معلق ناشی از جریان‌ها همراه با برهمکنش‌های موج و جریان در مناطق ساحلی می‌شوند. در مناطق ساحلی ماسه‌ای، ناحیه نزدیک به ساحل از لحاظ برهمکنش‌های هیدرودینامیکی ناشی از شکست امواج به چندین منطقه یا گستره مکانی مختلف تقسیم می‌شود [۱]. این مناطق شامل منطقه قبل از شکست موج یا منطقه کم‌عمقی^۲، منطقه بیرون خیزاب ساحلی^۳، منطقه درون خیزاب ساحلی^۴، و منطقه شست‌وشو^۵ یا بالاروی^۶ موج از صورت ساحل^۷ است. در این تقسیم‌بندی منطقه خیزاب ساحلی درواقع بخشی از منطقه نزدیک ساحل است که از نقطه شکست^۸ موج تا منطقه یورش موج امتداد می‌یابد (شکل ۱). حال از آنجایی که جریان‌های

ساحلی خصوصاً جریان‌هایی که در اثر شکست امواج ایجاد می‌شوند، یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در انتقال رسوبات و مواد جامد معلق و آلاینده‌ها در دریاها و محیط‌های ساحلی محسوب می‌شوند (شکل ۲)، لذا سنجش میزان آلودگی‌ها و رسوبات عمدتاً در منطقه خیزاب ساحلی در سواحل، موضوع مهمی در راستای دستیابی به کنترل شرایط زیست‌محیطی در طرح‌های مدیریت سواحل به شمار می‌روند [۲ و ۳]. از طرفی از آنجایی که تخمین میزان غلظت رسوبات علی‌الخصوص در مشاهدات میدانی در شرایط طوفانی ساحل یا وقوع سیل در رودخانه‌ها در محل ورود به دریاها کاری بس دشوار و غیرممکن است، بنابراین هدف از تحقیق ما ارائه روشی برای تخمین غلظت رسوبات با استفاده از ویژگی‌های رنگی تصاویر منطقه خیزاب ساحلی از طریق تست‌های آزمایشگاهی در شرایط هیدرودینامیکی و مورفودینامیکی متفاوت ساحل است.



شکل ۲. رسوبات معلق ناشی از جریان‌های شکافته در ساحلی با حالت میانه [۴]



شکل ۱. بخش‌بندی مختلف هیدرودینامیکی در یک ساحل ماسه‌ای [۱]

ناشی از موج را پوشش می‌دهد. در مورد انتقال رسوبات ساحلی به‌طور نمونه تحقیقی توسط پیلوتی و همکاران (۱۹۹۷) با کمک روش پردازش تصویر انجام شد [۷]. در این تحقیق از یک دوربین مداربسته برای تهیه تصاویر خطی از حرکت رسوبات در شرایط آزمایشگاهی استفاده شد. یک نرم‌افزار پردازش تصویر به‌صورت آنلاین تعداد دانه‌های رسوب را شمارش و سپس سرعت آن‌ها را ارزیابی می‌کرد. در حوزه مطالعات اندازه دانه و کانی‌شناسی رسوبات ساحل،

پردازش تصویر کاربردهای متنوعی در فعالیت‌های مختلف انسانی دارد و می‌توان در کنار روش‌های سنتی [۵] و [۶] از این روش پرکاربرد نیز در مهندسی سواحل خصوصاً مبحث مطالعه رسوب و گردش‌های ساحلی استفاده کرد. تحقیقات گذشته محققین در این رابطه طیف وسیعی از مطالعات را در تخمین اندازه دانه و کانی‌شناسی رسوبات، بافت و ترکیب ماسه‌های ساحل، طبقه‌بندی و انتقال رسوب، غلظت رسوبات ساحلی و رودخانه‌ای، تجزیه و تحلیل جریان

لیرا و پینا (۲۰۰۶) با استفاده از پردازش تصویر روشی جدید برای توصیف اندازه دانه شن ارائه کردند و دریافتند که تجزیه و تحلیل تصویر یک روش جایگزین روش غربالگری برای اندازه گیری اندازه دانه های شن است [۸]. ونگلا و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از یک نور تک رنگ و یک دوربین با کیفیت بالا برای تولید تصاویر از دانه های ماسه ای با تنظیم پس زمینه، جهت گیری و شدت نور برای تعیین دقیق تر توزیع اندازه دانه های شن استفاده کردند و دریافتند از پردازش تصویر می توان برای تعیین دقیق تر توزیع اندازه دانه های شن استفاده کرد [۹]. از جمله مطالعات انجام شده روی تجزیه و تحلیل جریان ناشی از موج با استفاده از تصاویر دیجیتال می توان به تحقیق انجام شده توسط شین و کیم (۲۰۱۷) اشاره کرد. این محققین دریافتند، نتایج حاصل از تفسیر تصاویر فیلم برداری شده توسط دوربین فیلم برداری با حساسیت و وضوح بالا می تواند به عنوان یک روش آنالیز بسیار مفید برای درک مکانیزم مسیر حرکت جریان های ناشی از موج استفاده شود [۱۰]. در زمینه بررسی میزان غلظت رسوبات، شفایی و نوروزپور (۲۰۰۷) روشی برای تعیین غلظت رسوبات با استفاده از روش پردازش تصویر ارائه کردند. نتایج، همبستگی جالبی را بین داده های تصویر و میزان غلظت رسوبات در منطقه نشان می داد [۱۱]. کانگ و همکاران (۲۰۲۲) با هدف پیش بینی تغییرات غلظت رسوبات و کدورت با بررسی تغییر رنگ در تصاویر زیر آب مطالعاتی را انجام دادند و در نهایت از رابطه کدورت و غلظت رسوبات معلق تعیین شده از نتایج تجربی برای مقایسه با میزان غلظت رسوبات تعیین شده از تغییرات رنگ در تصاویر زیر آب استفاده کردند [۱۲]. البته در مورد بررسی میزان غلظت رسوبات، نتایج تصاویر ماهواره ای هم کارساز است و از جمله مشاهدات محققین در این راستا می توان به پژوهش انجام شده توسط مک کیل و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد [۱۳]. این محققین با کمک بررسی خصوصیات طیفی ماهواره های لندست-۸ و سنتینل-۲ میزان رسوبات و مواد معدنی معلق را در تعدادی از دریاچه های آمزون مورد بررسی قرار دادند. پریرا و همکاران (۲۰۱۹) نیز از تصاویر ماهواره ای با

وضوح بالا برای سنجش غلظت رسوب معلق در رودخانه جگواریب^۴ در یک دوره پنج ساله استفاده کردند [۱۴]. در تحقیق حاضر از قابلیت بالای روش پردازش تصویر برای پیش بینی میزان غلظت رسوبات در منطقه ساحلی در سواحل میانه در شرایط مورفودینامیکی و هیدرودینامیکی مختلف آزمایشگاهی استفاده شده است. لذا نتایج این تحقیق گامی مفید، سهل و مؤثر در تخمین و پایش میزان غلظت رسوبات در مناطق ساحلی محسوب می شود. ساختار این تحقیق به شرح ذیل می باشد. در بخش ۲ مواد و روش کار تحقیق اعم از انواع مدل های رنگی معرفی شد و گام های مختلف تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت. در بخش ۳ نتایج پردازش تصاویر در قالب نمودارها و هیستوگرام های مرتبط از نواحی مختلف ساحل بررسی و مقایسه شد. سپس نتایج کلی تحقیق در بخش ۴ مورد جمع بندی قرار گرفت.

۲. مواد و روش کار

در این مطالعه از ابزارهای مختلف نظیر تحلیل روابط تجربی، طراحی و انجام تست های آزمایشگاهی و همچنین پردازش تصاویر با کمک نرم افزار متلب در تخمین میزان غلظت رسوبات استفاده شده است.

۲-۱. مطالعات آزمایشگاهی

با توجه به اهداف پژوهش در گام نخست این تحقیق، طراحی بستر در یک مطالعه آزمایشگاهی در فلوم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی بر اساس طراحی سواحل میانه انجام شد. در این حالت، ساحل با حرکت تلاطمی جریان آب، افزایش غلظت رسوبات در اثر هجوم امواج شکست یافته روی سد رسوبی و در نهایت با چرخابه های ایجاد شده بر اثر ایجاد جریان های شکافنده، مواجه خواهد شد. لذا بستر اولیه در این مدل آزمایشگاهی به حالت ناوه و سد رسوبی کرانه راستا^۱ در فلومی به ابعاد ۲۰ متر در راستای طول، ۵/۵ متر در راستای عرض و ارتفاع ۲ متر طراحی شد (شکل ۳ و ۴). در واقع مشاهدات آزمایشگاهی در ۴ اجرای مختلف برای ایجاد امواج منظم با ارتفاع ۷/۵

سانتی متر معادل (۱/۵ متر)، پریودهای ۱/۸، ۱/۲ ثانیه (به ترتیب معادل ۸/۶۴ و ۵/۲۸ ثانیه)، تراز آب ۲۰ سانتی متر در بسترهایی با دو شیب متفاوت ۰/۰۱ و ۰/۰۲ و همچنین پهنای اولیه منطقه خیزاب معادل $X_{b,initial}(m) = 0.6$ طراحی گردید. لازم به ذکر است اندازه رسوبات و مقدار مصالح

مورد استفاده به ترتیب ۰/۱ میلی متر و یک تن ماسه بوده است. پس از اجرای هر یک از مدل های فوق، توپوگرافی بستر برداشت و سپس با کمک روابط تجربی مقادیر غلظت استخراج شد (جدول ۱).



شکل ۳. نمای کلی از فلوم آزمایشگاهی

شکل ۴. شکست موج در منطقه خیزاب و افزایش غلظت رسوبات

جدول ۱. ویژگی های هیدرودینامیکی و مورفودینامیکی اجراهای مختلف

Run	H(m)	T(s)	$\tan\beta$	$X_{b,initial}(m)$	$D_{50}(mm)$
۱	۰/۰۷۵	۱/۸	۰/۰۲	۰/۶	۰/۱
۲	۰/۰۷۵	۱/۸	۰/۰۱	۰/۶	۰/۱
۳	۰/۰۷۵	۱/۲	۰/۰۱	۰/۶	۰/۱
۴	۰/۰۷۵	۱/۲	۰/۰۲	۰/۶	۰/۱

۲-۲. روابط تجربی

مجموعه ای از مدل ها برای محاسبه غلظت رسوب معلق در داخل و خارج از منطقه خیزاب ساحلی تحت سه مکانیسم مختلف زیر پیش بینی شده است:

۱- تعلیق رسوبات ناشی از حرکت تلاطمی^{۱۱} روی موجک های ماسه ای^{۱۲}

۲- تعلیق رسوبات روی لایه ای از جریان

۳- تعلیق رسوبات در اثر حرکت تلاطمی ناشی از امواج شکست یافته^{۱۳} [۱۵].

جهت تخمین میزان غلظت رسوبات متناسب با مکانیزم های مختلف ذکر شده، داده های تجربی از منابع مختلف بر اساس فرمول های پیشنهادی توسط محققینی مانند سلیس (۱۹۸۲)، نیلسن (۱۹۸۶ و ۱۹۸۸) و شیبایاما (۱۹۹۳) ارائه شده است [۱۶-۱۹]. در حالت کلی توزیع عمودی رسوبات

معلق توسط معادله انتشار محاسبه می شود. با در نظر گرفتن مقدار میانگین غلظت و با صرف نظر از همرفت و انتشار افقی، معادله انتشار را می توان به صورت زیر نوشت:

$$c w_s + \epsilon_s \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

که در آن c غلظت رسوب به طور متوسط با زمان^{۱۴}، w_s سرعت سقوط ذرات رسوب^{۱۵}، ϵ_s ضریب انتشار^{۱۶} و z مختصات عمودی است. برای حل معادله انتشار، باید غلظت در تراز مبنا به عنوان یک شرط مرزی داده شود و ضریب انتشار نیز باید شناخته شود [۲۰]. در تحقیق حاضر تعلیق رسوبات در اثر حرکت تلاطمی ناشی از امواج شکست یافته در سواحل میانه که مستعد تشکیل جریان های ناشی از شکست موج از جمله جریان های شکافده هستند، در نظر گرفته شده است. مطابق مطالعات انجام شده در گذشته از

متر توسط ساتو و همکاران (۱۹۹۰) به صورت زیر ارائه شد [۲۴].

$$M_{sm} = 4.4 \times 10^{-8} \rho_s H_b^2 \left(\frac{\hat{u}_b}{w_s} \right)^{3.3} \quad (5)$$

که H_b ارتفاع موج در نقطه شکست، w_s سرعت سقوط ذرات ماسه است که از رابطه تجربی رابی (۱۹۳۳) محاسبه می شود و ρ_s چگالی ماسه است [۲۵]. علاوه بر این $\hat{u}_b$ به عنوان پارامتری انتخاب شد تا شدت جریان را نزدیک بستر در نقطه شکست نشان دهد. همچنین غلظت مرجع تحت تلاطم ناشی از شکست موج در تراز 100d بالاتر از تراز مرجع از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$c_b = 1.22 \times 10^{-9} g T \frac{\hat{u}_b^{2.3}}{w_s^{3.3}} \quad (6)$$

سرعت جریان نزدیک بستر در نقطه شکست نیز با استفاده از رابطه زیر قابل دستیابی است.

$$\hat{u}_b = \pi H_b / T \sinh(K_b d_b) \quad (7)$$

که در آن $K_b = 2\pi/L_b$ عدد موج و L_b طول موج را در نقطه شکست نشان می دهد.

بنابراین با توجه به روابط مذکور می دانیم در بخش های مختلف ساحل، متناسب با عمق و شرایط بستر در شرایط هیدرودینامیکی متنوع، میزان غلظت رسوبات معلق در نواحی مختلف ساحلی، متفاوت است. در این راستا هانگ و همکاران (۱۹۹۶) در اثر مطالعات مختلف میدانی و آزمایشگاهی، میزان غلظت رسوبات معلق در هر عمق y را با پیروی از فرمول رگرسیون به صورت زیر به دست آوردند [۲۶].

$$C = 1920. e^{-21668(y/d)(d/L_0)^3} \quad (8)$$

که در این رابطه d عمق آب و y ارتفاع از بستر دریا و C غلظت رسوبات معلق برحسب ppm است. در تحقیق حاضر از این رابطه برای محاسبه غلظت رسوبات بر اساس عمق میانگین بستر (مستخرج از توپوگرافی برداشت شده در هر اجرای مدل آزمایشگاهی) استفاده شده است.

مهم ترین عوامل مؤثر بر تعلیق و غلظت رسوبات در منطقه خیزاب ساحلی، ویژگی های تلاطمی مانند ادی های^{۱۷} و چرخابه های^{۱۸} ناشی از شکست امواج است. در واقع پدیده های فوق باعث تعلیق و افزایش میزان رسوبات معلق و در نتیجه افزایش غلظت رسوبات در منطقه شکست می شوند. علاوه بر این، اثر تلاطم ناشی از شکستن امواج، شکل پروفایل غلظت را تغییر می دهد [۲۱]. در این حالت ما نمی توانیم مانند موارد امواج غیر شکسته، فرض کنیم که ضریب انتشار ثابت است [۲۰].

طبق نتایج آزمایشگاهی، اکایاسو (۱۹۸۹) توزیع خطی ادی ویسکوزیته E را می توان به صورت تابع نرخ اتلاف انرژی ناشی از شکست موج D_B بیان کرد [۲۲]. با فرض اینکه ضریب انتشار متناسب با ادی ویسکوزیته جریان^{۱۹} در ترکیب با ضریب انتشار ایجاد شده از برش^{۲۰} در میدان موج باشد، ضریب انتشار کل، E_{sb} ، به شرح زیر است:

$$E_{sb} = [k_a u_* + k_b (D_B / \rho)^{1/3}] z \quad (2)$$

که k_a و k_b ثابت هستند و D_B میرایی انرژی^{۲۱} است و به صورت $D_B = \rho H^3 g / (4Th)$ تعریف می شود [۲۳]. بعد از انتگرال گیری از معادله انتشار حل تحلیلی پروفایل غلظت می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$(z) = c_r \left(\frac{r}{z} \right)^M \quad (3)$$

$$M = \frac{w}{[k_a u_* + k_b (D_B / \rho)^{1/3}]} \quad (4)$$

با استفاده از تکنیک بهترین برازش، با استفاده از داده های شکست موج پارامترهای ثابت موج به صورت زیر معرفی می شوند:

$$k_a = 0.04$$

$$k_b = \begin{cases} 0.144 & \text{شکست آشفته} \\ 0.216 & \text{شکست انتقالی آشفته-چرخان} \\ 0.450 & \text{شکست چرخان} \end{cases}$$

لازم به ذکر است معادله ۲ در صورتی معتبر است که آشفتگی ناشی از امواج در حال شکست باعث افزایش رسوب در عمق آب شود. از طرفی جرم شن و ماسه معلق در اثر شکست موج در واحد عرض (M_{sm}) با یکای کیلوگرم بر

۳-۲. پردازش تصویر

فضای در دسترس کمتری نیاز دارد و سریع تر است، استفاده از این مدل رایج تر است [۲۸].

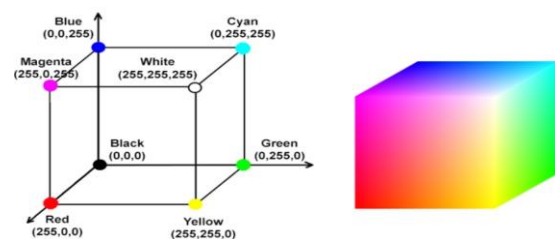
ج) مدل HSV: این مدل بر اساس درک انسان از رنگ است. در این مدل پرده رنگ^{۲۳} یا ته رنگ، رنگ غالبی را که توسط بیننده دریافت می شود، نشان می دهد. گستره پرده رنگ مابین اعداد ۰ تا ۳۶۰ درجه مشخص شده است. اشباع^{۲۴} نشان دهنده شدت رنگ است و به درجه خلوص نسبی یا میزان ترکیب نور سفید با پرده رنگ مربوط می شود. درجات اشباع بین اعداد ۰ تا ۱۰۰ تعریف شده است. عدد صفر در واقع بدون رنگ است و ۱۰۰ شدت و وضوح رنگ را نشان می دهد. پرده رنگ و اشباع را روی هم رفته رنگینگی^{۲۵} می نامند و در نتیجه رنگ ممکن است با رنگینگی آن مشخص شود. درخشش^{۲۶} یا ارزش^{۲۷} همان طور که از نامش پیداست، میزان درخشش رنگ را نشان می دهد که بین اعداد ۰ تا ۱۰۰ تعریف می شود. عدد صفر همیشه سیاه است و بر اساس میزان اشباع رنگی، ۱۰۰ می تواند سفید باشد. البته میزان تغییرات پارامتر اشباع و ارزش در متلب بین ۰ و ۱ تعریف می شود [۳۰].

۴-۲. ادغام و توسعه گام های مختلف

اولین گام در انجام تحقیق حاضر، راه اندازی ساحل به حالت ناوه و سد رسوبی کرانه راستا در شرایط آزمایشگاهی است. علت انتخاب سواحل میانه جهت مطالعه میزان غلظت رسوبات ساحل، شکل گیری و ایجاد حرکت تلاطمی همراه با الگوی پیچیده انتقال رسوب ناشی از امواج شکست یافته روی سد رسوبی در این حالت ساحل می باشد. درواقع طی این رویداد، مقادیر قابل توجهی مواد جامد معلق و آلاینده ها از طریق کانال های جریان شکافته به ناحیه دور از ساحل انتقال می یابند. درواقع در چنین شرایطی سنجش و تخمین میزان غلظت رسوبات در سواحل تقریباً غیرممکن است. در گام بعدی با اعمال شرایط مختلف هیدرودینامیکی و تغییر شیب بستر با کمک یک سیستم سنجنده عمق^{۲۸} نقشه هیدروگرافی بستر با اتمام مراحل مختلف آزمایش استخراج گردید. هم زمان و بلافاصله پس از اجرای آزمایش ها با کمک دوربین دیجیتال سونی مدل SONY DSC-H1

از آنجایی که گام بعدی تحقیق حاضر ارائه روش پردازش تصویر برای تخمین میزان غلظت رسوبات سطحی در منطقه خیزاب ساحلی است. لذا انواع مختلف مدل های رنگی مورد استفاده به طور خلاصه مورد بحث قرار می گیرد. درواقع مدل های رنگی مدل های ریاضی انتزاعی هستند که روشی را توصیف می کنند که در آن ها رنگ ها را می توان به صورت اعداد چندتایی نشان داد [۲۷].

الف) مدل RGB: انواع مختلفی از مدل های رنگی وجود دارند که مدل رنگی RGB از متداول ترین آن ها است و بر اساس سامانه مختصات دکارتی قابل تعریف است [۲۸]. بر اساس این مدل یک تصویر با سه مؤلفه برحسب رنگ های قرمز، سبز و آبی قابل ذخیره است و به این ترتیب دستورالعملی ارائه می شود که نشان می دهد چه مقدار از هر رنگ در هر پیکسل خاص از تصویر مورد استفاده واقع شده است. حداکثر مقدار عددی هر رنگ ۲۵۵ است (شکل ۵). تصاویر سیاه، فاقد پیکسل قرمز، سبز و آبی هستند و به صورت (۰، ۰ و ۰) نشان داده می شوند. از سوی دیگر برای تصاویر سفید، مقادیر قرمز، سبز و آبی ۲۵۵ است و به صورت (۲۵۵، ۲۵۵ و ۲۵۵) نشان داده می شوند [۲۹].

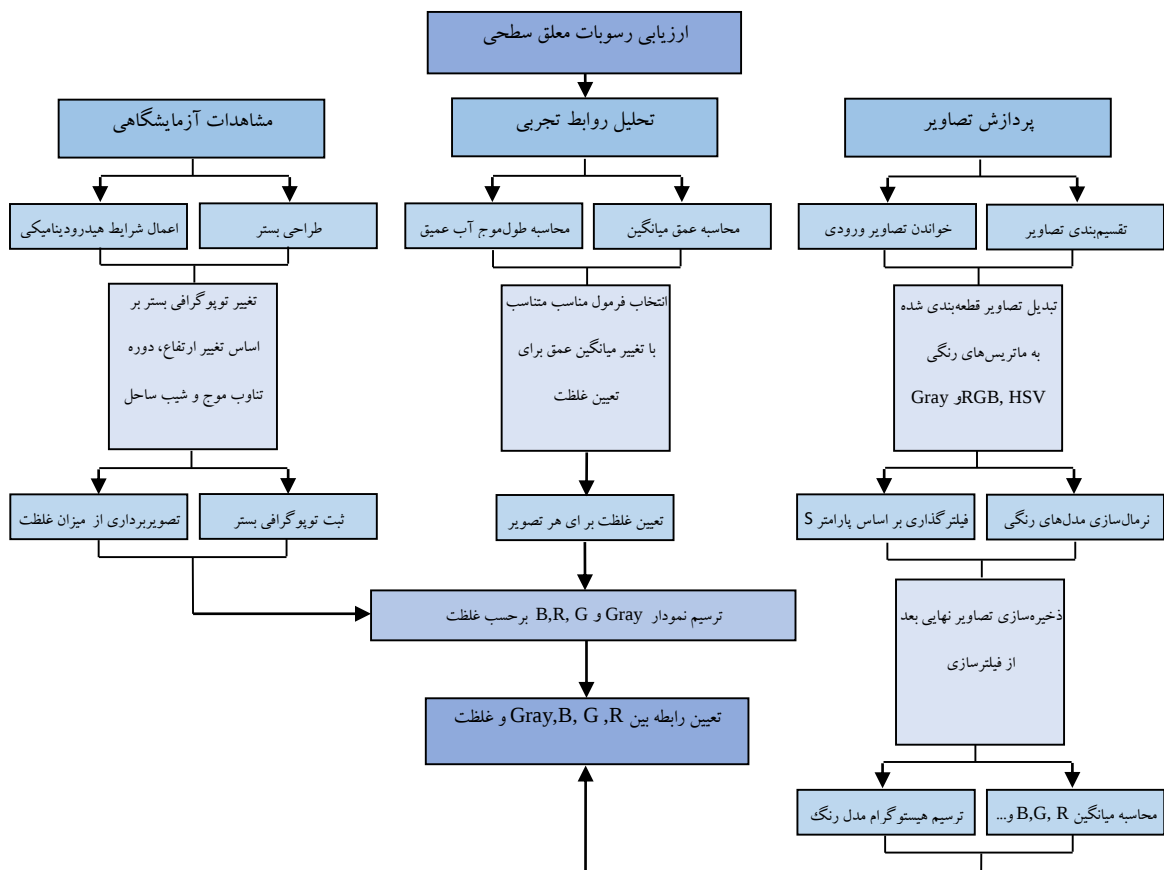


شکل ۵. طرح شماتیکی از فضای رنگی RGB با رنگ های اصلی قرمز، سبز، آبی و رنگ های فرعی [۲۹]

ب) مدل Grayscale: این مدل جزو ساده ترین مدل ها می باشد زیرا رنگ ها را تنها با استفاده از یک جزء که روشنایی^{۲۹} است، تعریف می کند. میزان روشنایی با استفاده از مقداری از ۰ (سیاه) تا ۲۵۵ (سفید) توصیف می شود. از آنجایی که استفاده از یک تصویر در مقیاس خاکستری به خصوص زمانی که با محاسبات پیچیده سروکار داریم، به

بیرون خیزاب ساحلی مورد تقسیم‌بندی قرار گرفت. مرحله آخر در روش‌شناسی تحقیق، کشف رابطه بین ویژگی‌های رنگ تصاویر، با مقادیر غلظت رسوب می‌باشد. بدین منظور در گام بعدی تحقیق، مدل RGB و Grayscale اجرا شد و برای رسیدن به این هدف الگوریتمی در نرم‌افزار متلب ارائه شد. طبق این الگوریتم هر تصویر دیجیتالی در سه باند قابل مشاهده قرمز، سبز و آبی و خاکستری مورد پردازش و نرمال‌سازی قرار گرفت. سپس میانگین مقادیر مربوط به ویژگی‌های هر چهار رنگ در هر تصویر استخراج شد و سپس هیستوگرام‌های هر سه مدل رسم و مورد مقایسه قرار گرفت. در مرحله بعدی میزان غلظت رسوبات با توجه به شرایط حاکم بر ساحل، متناسب با توپوگرافی بستر در هر اجرای مدل آزمایشگاهی و با استفاده از روابط تجربی مورد محاسبه قرار گرفت. سپس از طریق رسم نمودارهای ویژگی‌های مختلف تصاویر برحسب غلظت، بهترین رابطه برازش یافته بین میانگین غلظت رسوب و میانگین ویژگی‌های رنگی، توسط نرم‌افزار اکسل ایجاد و معادلات مرتبط استخراج گردید (شکل ۶).

تصاویر مورد پردازش استخراج شد. در مرحله بعد، ابتدا الگوریتمی با کمک نرم‌افزار مطلب ورژن ۲۰۱۹، برای پردازش تصاویر برداشت شده ارائه شد. درواقع این الگوریتم قادر به خواندن تصاویر می‌باشد و بعد از عملیات پیش‌پردازش، در هر تصویر با توجه به نوع مدلی که برای پردازش انتخاب می‌شود ویژگی‌های تصویر به صورت داده‌های عددی استخراج می‌گردد. سپس این داده‌ها می‌توانند برای تجزیه و تحلیل بیشتر مورد استفاده قرار گیرند. به طور مثال با اجرای مدل HSV و طراحی یک الگوریتم نرمال‌سازی، نخست اعداد مربوط به ویژگی‌های مدل بین ۰ تا ۱ نرمال‌سازی شد، سپس از طریق فیلترگذاری به جداسازی پیکسل‌ها با مقادیر پرده رنگ و اشباع خارج از منطقه مطلوب پرداخته شد و پیکسل‌ها و نقاطی با حد آستانه کمتر از ۰/۳ برای پارامتر اشباع (S) فیلتر گردید. به این ترتیب در هر تصویر پیکسل‌های ناشی از کف، موجک‌های آب و مسائل مربوط به روشنایی که درواقع نویز تصاویر محسوب می‌شوند، حذف شدند. در مرحله بعدی تصاویر در بخش‌های مختلف ساحل شامل منطقه درون خیزاب ساحلی، منطقه شکست و منطقه

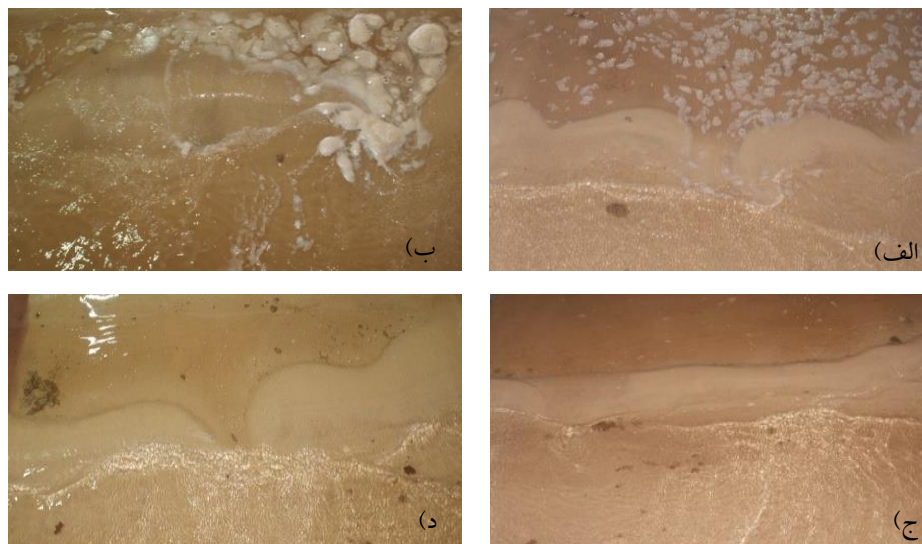


شکل ۶. فلوچارت روش کار جهت ارزیابی میزان غلظت رسوبات معلق سطحی

نیاز به جداسازی فضای رسوبات معلق از فضای کف آلود و روشنایی ناشی از بازتابش نور در تصاویر مختلف است. برای این منظور الگوریتم‌های متفاوتی ارائه شده است، که از آن جمله، الگوریتم‌های مبتنی بر آستانه‌گذاری و الگوریتم‌های مبتنی بر هیستوگرام هستند.

۳. نتایج و بحث

نتایج اجرای مدل آزمایشگاهی به صورت تصاویر ثبت شده از منطقه نزدیک به ساحل در شکل ۷ و همچنین تصاویر قطعه‌بندی و فیلترگذاری شده از مناطق مختلف ساحل به طور نمونه در اجرای اول در شکل ۸ قابل رؤیت است. در روش پردازش تصویر پس از انتخاب مدل رنگی،



شکل ۷. نمونه تصاویر ثبت شده از منطقه نزدیک به ساحل در شرایط مختلف هیدرودینامیکی و مورفودینامیکی (الف) اجرای

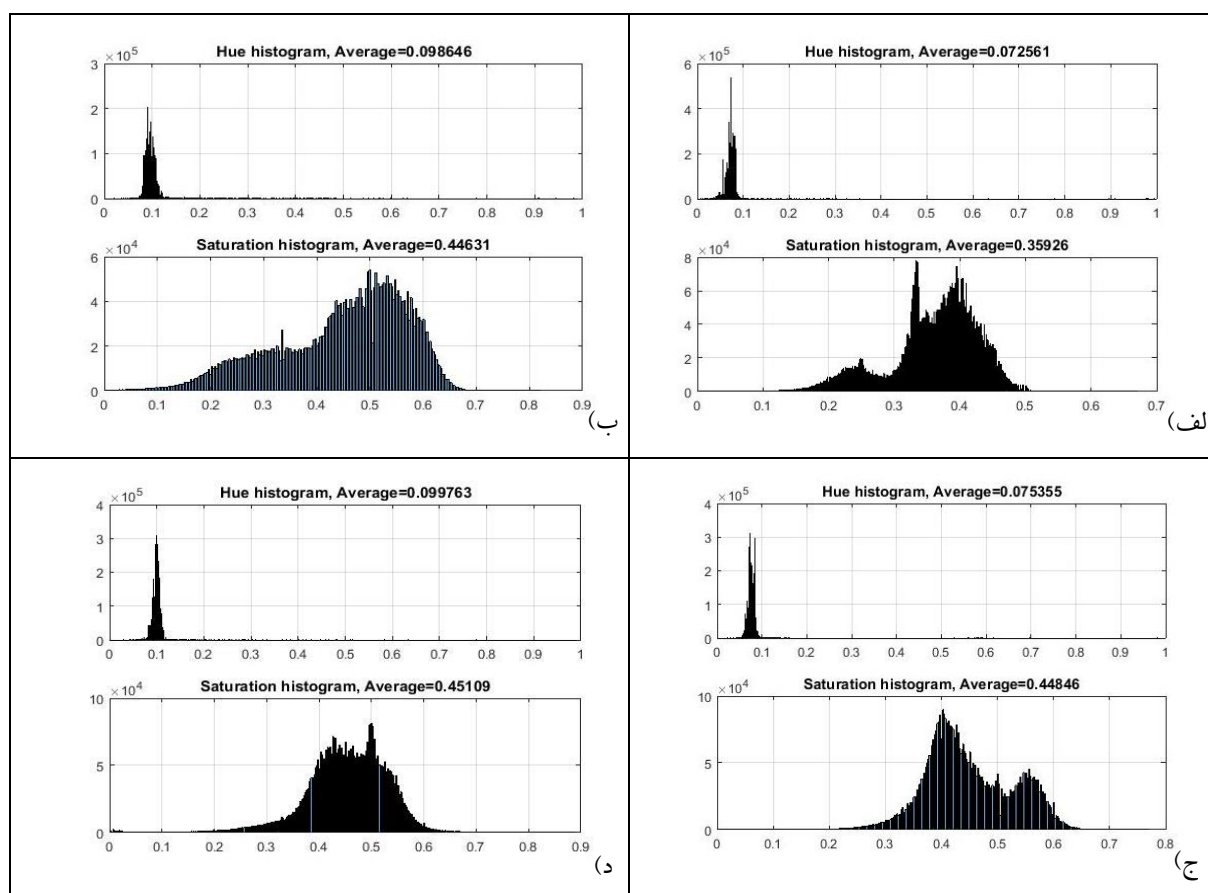
اول (ب) اجرای دوم (ج) اجرای سوم (د) اجرای چهارم

منطقه درون خیزاب ساحلی		منطقه بیرون خیزاب ساحلی		ناحیه کم عمقی	
ورودی	فیلتر شده	ورودی	فیلتر شده	ورودی	فیلتر شده

شکل ۸. نمونه تصاویر تقسیم‌بندی شده اصلی و فیلتر شده از مناطق مختلف ساحل در اجرای اول

هر کدام از این تکنیک‌ها دارای مزایا و معایب خاصی هستند. به طور مثال الگوریتم‌های آستانه گذاری با توجه به فضای رنگی که استفاده می کنند، حدی را برای پارامترهای آن فضا در نظر می گیرند. با رسم هیستوگرام، می توان تا حد زیادی از میزان ثبت شدن جزئیات تصویر آگاهی داشت. در این تحقیق نیز بررسی هیستوگرام اشباع کمک خواهد کرد

تا مقادیر مطلوب برای پردازش تصاویر استخراج شوند، شکل ۹ هیستوگرام پرده رنگ و اشباع را برای بعضی از تصاویر قطعه بندی شده در مناطق مختلف ساحلی نشان می دهد. البته هیستوگرام مربوط به هر کدام از پارامترهای مدل HSV بعد از قطعه بندی و حذف مناطق کف آلود هم مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.



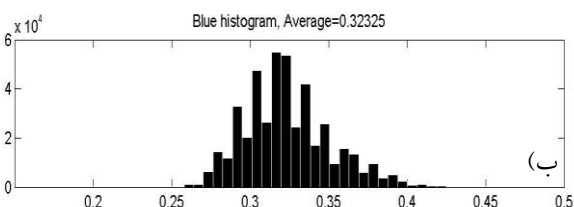
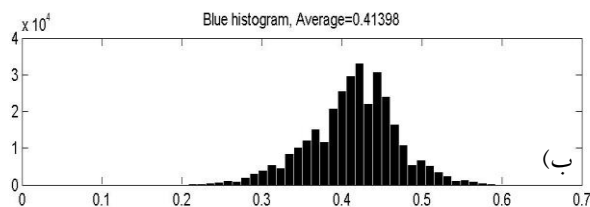
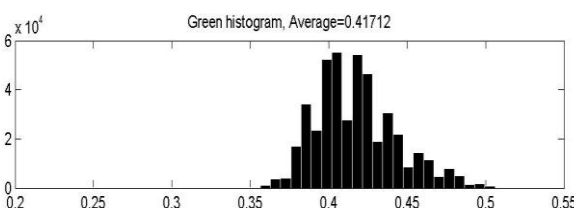
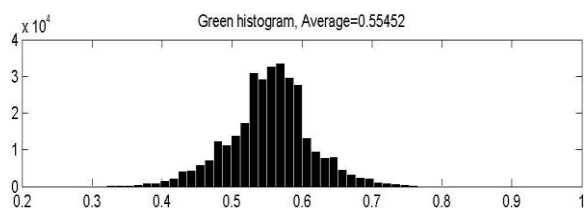
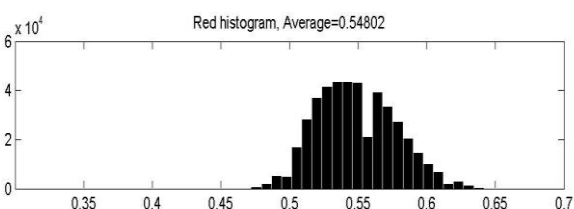
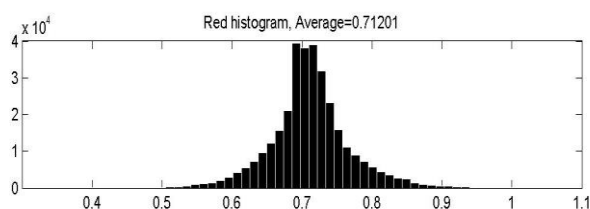
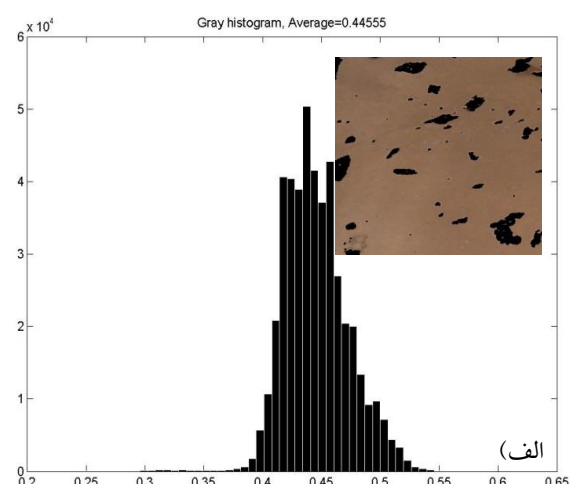
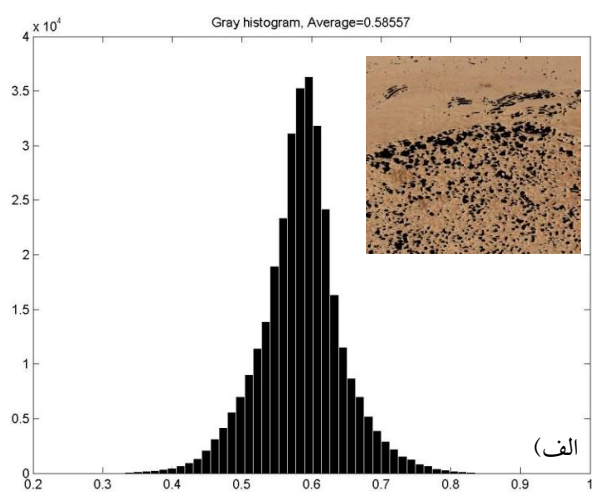
شکل ۹. مقایسه هیستوگرام پرده و اشباع رنگ (الف) اجرای اول (ب) اجرای دوم (ج) اجرای سوم (د) اجرای چهارم

شکل های ۱۰ الی ۱۳ نیز تصاویر قطعه بندی شده در بخش های مختلف ساحل و هیستوگرام کانال های تصاویر مدل RGB و Grayscale را پس از پردازش به طور نمونه نشان می دهد. مقایسه مقادیر غلظت در مقابل پارامترهای مختلف مدل های RGB و Grayscale در بخش های مختلف ساحلی در شکل ۱۴ گویای برازش مطلوب بین مقادیر نرمال شده هر کدام از

رنگ های قرمز، سبز، آبی و خاکستری با مقادیر غلظت است. بهترین معادله برازش یافته بین پارامترهای مدل RGB در شکل ۱۴ و در جدول ۲ ارائه شده است. مطابق معادلات جدول ۲ میزان غلظت رابطه معکوس با مقادیر پارامترهای مختلف مدل های RGB و Grayscale دارد. نتایج مربوط به میزان برازش هر کدام از پارامترهای مدل RGB، Grayscale

غلظت بخش‌های مختلف منطقه نزدیک به ساحل، نتایج این تحقیق گویای آن است که استفاده از روش پردازش تصویر بر اساس الگوریتم‌های ارائه شده در ناحیه کم عمقی نسبت به منطقه خیزاب ساحلی با دقت بیشتری قابل استفاده است. زیرا غلظت رسوب در منطقه خیزاب ساحلی عمدتاً از برهم زدن آب و رسوبات بستر در اثر نوسانات سرعت جریان‌های نزدیک بستر در ترکیب با تلاطم‌های ناشی از شکستن امواج حاصل می‌شود.

و HSV با غلظت سطحی از طریق مقایسه مقادیر مختلف ضریب تعیین R^2 برای مناطق مختلف ناحیه نزدیک به ساحل نیز، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج برای تحلیل دقیق‌تر به صورت نمودارهای راداری در شکل ۱۵ و ۱۶ ترسیم شده است. بررسی مقادیر ثبت شده نشان می‌دهد که پارامترهای مدل‌های RGB و Grayscale در مقایسه با مدل HSV نتایج مطلوب‌تری را برای تخمین میزان غلظت رسوبات سطحی در منطقه نزدیک ساحل ارائه می‌دهند و اما در مورد مقایسه



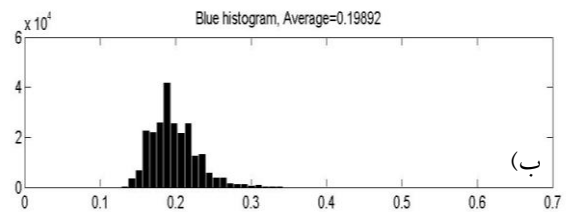
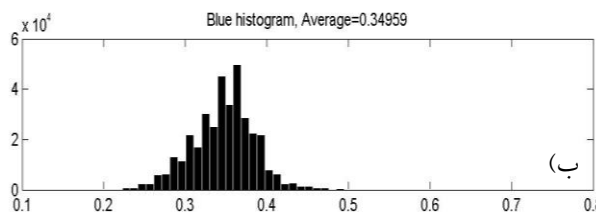
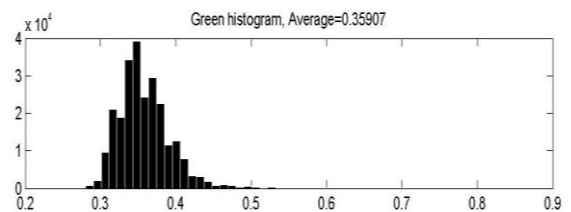
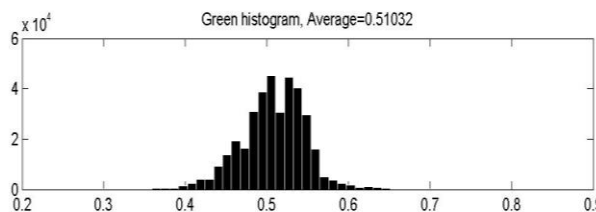
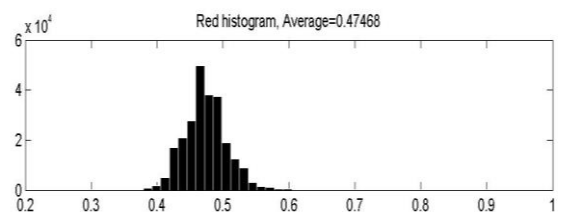
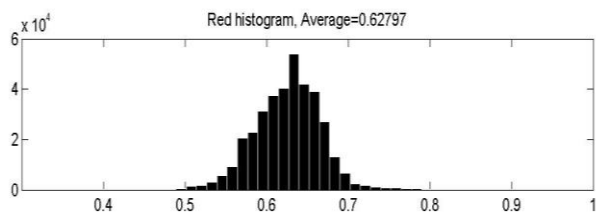
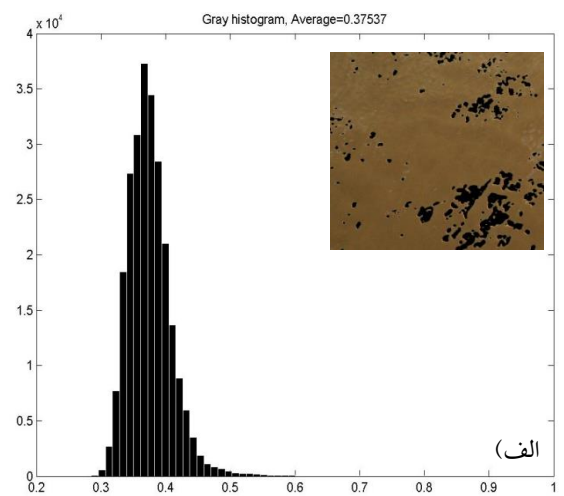
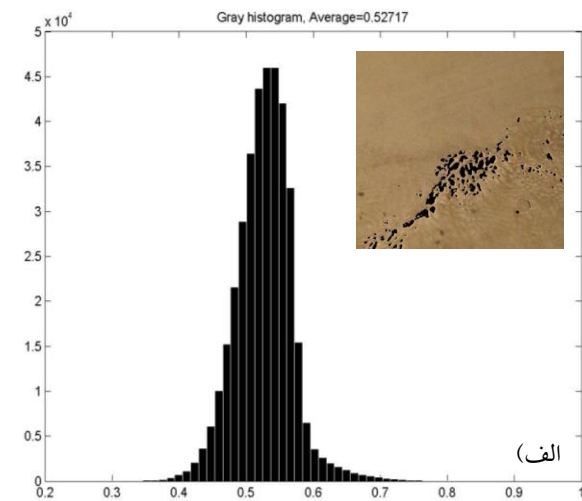
شکل ۱۱. هیستوگرام مدل (الف) Grayscale و (ب) RGB بیرون منطقه خیزاب (اجرای سوم)

شکل ۱۰. هیستوگرام مدل (الف) Grayscale و (ب) RGB درون منطقه خیزاب (اجرای اول)

این تلاطم‌ها به صورت موجک‌های آب و چرخابه‌ها و مسائل مربوط به روشنایی در سطح آب در تصاویر ثبت شده در منطقه خیزاب ساحلی رؤیت می‌شوند. درحالی که در ناحیه کم عمقی شدت این عوارض نسبت به منطقه خیزاب ساحلی به وضوح کمتر است.

مقایسه دقت نتایج ارائه شده در جدول ۳ همچنین گویای آن است که نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل‌های پردازش تصویر

در منطقه بیرون خیزاب ساحلی نسبت به منطقه درون خیزاب ساحلی از دقت بیشتری برخوردار است و این امر هم به این علت است که با نزدیک شدن به منطقه شست‌وشو بر اثر یورش موج به صورت ساحل منطقه کف آلوده‌ای شکل می‌گیرد که به صورت منطقه حاوی نویز در تصاویر رؤیت می‌شود و به همین علت از دقت نتایج مدل می‌کاهد.

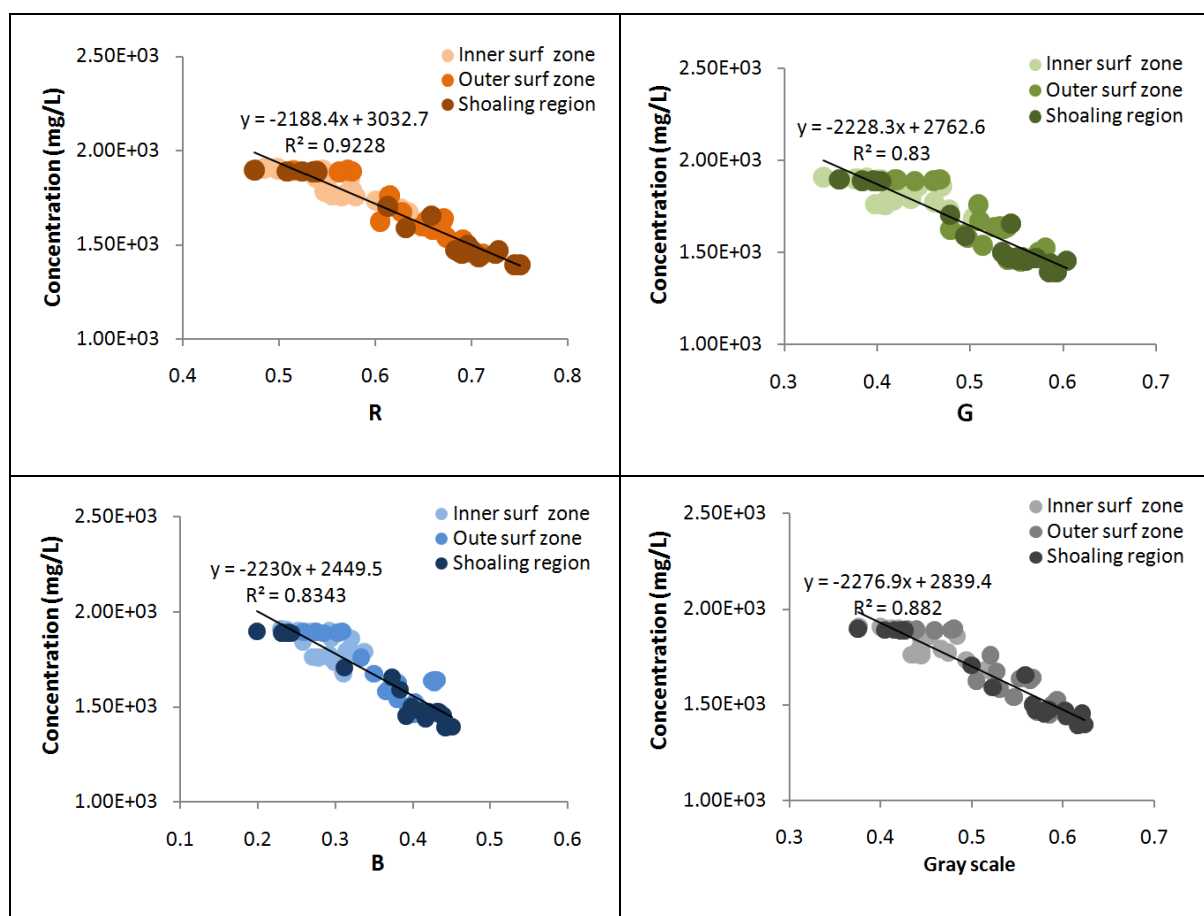


شکل ۱۳. هیستوگرام مدل الف (Grayscale و ب) بیرون منطقه خیزاب (اجرای چهارم)

شکل ۱۲. هیستوگرام مدل الف (Grayscale و ب) درون منطقه خیزاب (اجرای دوم)

شکل ۱۷ حاکی از آن است که میزان میانگین غلظت پیش‌بینی‌شده در ناحیه کم‌عمقی کمتر از میانگین غلظت بخش‌های مختلف منطقه خیزاب ساحلی است. این نتایج با این واقعیت که بیشترین غلظت رسوب در منطقه خیزاب ساحلی در جایی که بیشترین تکان و برهم‌زدگی به دلیل تلاطم در اطراف نقطه شکست امواج ایجاد می‌شود، مطابقت

دارد. مقایسه مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده توسط رابطه هانگ و همکاران (۱۹۹۶) در مقابل مقادیر غلظت پیش‌بینی‌شده حاصل از نتایج مدل Grayscale به‌عنوان نتیجه کلی تحقیق حاکی از برازش مطلوب میان مقادیر غلظت پیش‌بینی‌شده و اندازه‌گیری شده در بخش‌های مختلف ساحل علی‌الخصوص در منطقه کم‌عمقی است (شکل ۱۸).



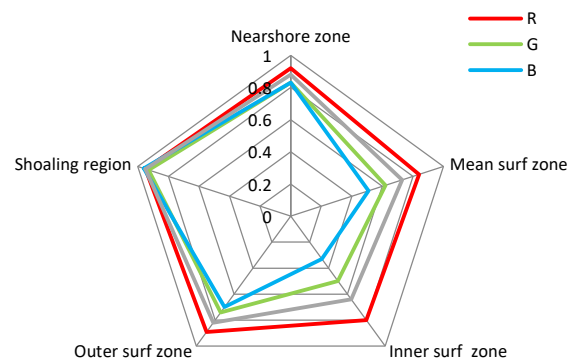
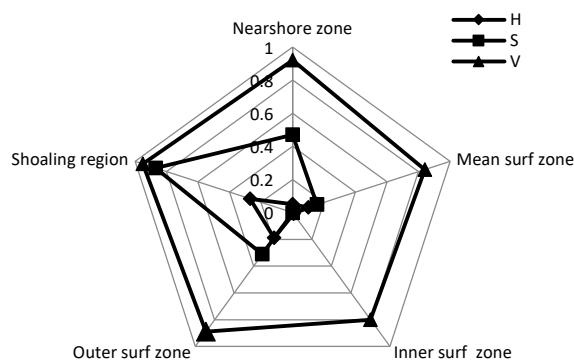
شکل ۱۴. نمودارهای پراکندگی مربوط به مقادیر غلظت در مقابل پارامترهای مختلف مدل RGB و Grayscale در بخش‌های مختلف ساحلی

جدول ۲. نتایج مربوط به معادلات استخراج‌شده و میزان برازش هر کدام از پارامترهای مدل RGB با غلظت سطحی

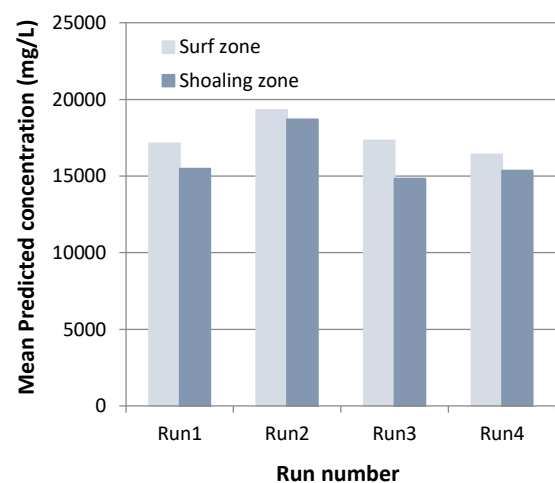
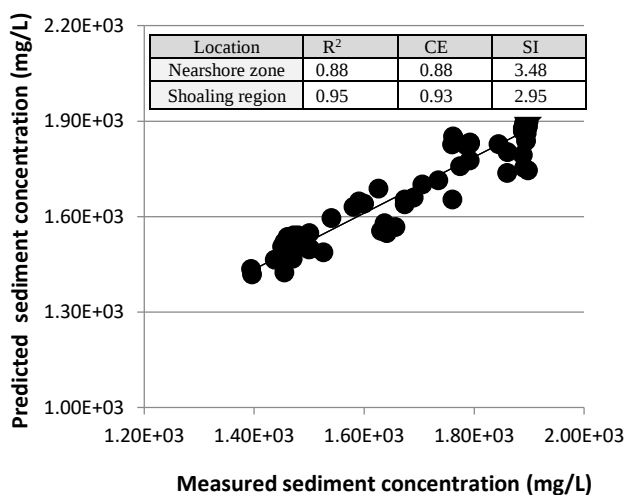
شماره معادله	معادله	R^2 (منطقه نزدیک به ساحل)
۱	$C = -2188/4R + 3032/7$	۰/۹۲
۲	$C = -2228/4G + 2762/6$	۰/۸۳
۳	$C = -2230/4B + 2449/5$	۰/۸۳
۴	$C = -2276/9Gray + 2839/4$	۰/۸۸

جدول ۳. نتایج مربوط به میزان برازش هر کدام از پارامترهای مدل RGB، Grayscale و HSV با غلظت سطحی

پارامتر مدل	R ²			
	کل منطقه نزدیک به ساحل	درون منطقه خیزاب ساحلی	بیرون منطقه خیزاب ساحلی	ناحیه کم عمقی
R	۹۲/۰	۸۰/۰	۸۹/۰	۹۵/۰
G	۸۳/۰	۵۰/۰	۷۴/۰	۹۳/۰
B	۸۳/۰	۳۳/۰	۷۰/۰	۹۶/۰
Gray	۸۸/۰	۶۴/۰	۸۲/۰	۹۵/۰
H	۰۵/۰	۰۱/۰	۱۹/۰	۲۷/۰
S	۴۷/۰	۰۰۲/۰	۳۱/۰	۸۷/۰
V	۹۲/۰	۸۰/۰	۸۹/۰	۹۵/۰



شکل ۱۵. نمودار راداری مربوط به میزان برازش برحسب معیار R² در مدل‌های شکل ۱۶. نمودار راداری مربوط به میزان برازش برحسب معیار R² در مدل HSV در بخش‌های مختلف ساحلی



شکل ۱۸. مقادیر غلظت پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر غلظت اندازه‌گیری شده

شکل ۱۷. میانگین غلظت پیش‌بینی شده در بخش‌های مختلف ساحلی

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه، نخست ضمن برپایی یک مدل آزمایشگاهی از یک ساحل ماسه‌ای با یک سد رسوبی کرانه راستا با تغییر شرایط هیدرودینامیکی و مورفودینامیکی، انواع مختلف حالت‌های یک ساحل میانه طراحی شد. سپس با استفاده از مدل‌های مختلف پردازش تصویر و انجام فیلترگذاری، از طریق مقایسه این مدل‌ها و ارائه هیستوگرام‌های مربوط به ویژگی‌های رنگی، معادلات برازش‌یافته مناسب میان پارامترهای مطرح در مدل‌ها و میزان غلظت رسوبات سطحی در مناطق نزدیک به ساحل استخراج شد.

با توجه به محدودیت‌های مختلف برای دستیابی به نتایج بهینه از جمله روش فیلترگذاری به منظور حذف مناطق کف‌آلود و اثرات ناشی از بازتاب نور در تصاویر می‌توان در آینده تحقیقاتی هم‌راستا با این تحقیق در جهت هموارسازی این محدودیت‌ها تعریف کرد. در نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق ما عملکرد روش‌های مختلف مدل‌های پردازش تصویر را که شامل مدل‌های RGB، Grayscale و HSV است با طراحی سه الگوریتم در سه منطقه متفاوت شامل ناحیه کم‌عمقی و مناطق درونی و بیرونی خیزاب ساحلی در یک ساحل ماسه‌ای با استفاده از معیارهای آماری مناسب مورد ارزیابی و مقایسه قرار دادیم که یافته‌های زیر به‌طور خلاصه از این مقایسه‌ها استخراج شده است:

۱- بررسی نمودارهای پراکندگی مربوط به تغییرات میزان غلظت رسوبات سطحی با داده‌های تصاویر در شرایط مختلف هیدرودینامیکی در اجراهای مختلف نشان می‌دهد که یک همبستگی قوی بین غلظت رسوب و داده‌های تصویر وجود دارد بطوریکه در میان انواع مختلف مدل‌های مورد بررسی، پارامترهای مدل‌های RGB به‌خصوص رنگ قرمز با ضریب تعیین $(R^2=0.95)$ و مدل Grayscale با ضریب تعیین $(R^2=0.88)$ بیشترین همبستگی و دقت را در تعیین غلظت رسوبات نشان می‌دهند.

۲- برای مقایسه توانایی تخمین میزان غلظت رسوب توسط مدل‌های مختلف، معادلات برازش‌یافته مناسب میان پارامترهای مختلف مدل‌های معرفی‌شده و میزان غلظت رسوبات سطحی استخراج شد. نتایج نشان داد میزان غلظت

رابطه معکوس با هرکدام از ویژگی‌های تصاویر برداشت‌شده از بخش‌های مختلف منطقه نزدیک به ساحل دارد.

۳- نتایج این تحقیق حاکی از آن است مقادیر غلظت پیش‌بینی‌شده از معادلات در بخش‌های مختلف منطقه خیزاب ساحلی بیشتر از ناحیه کم‌عمقی است و این در حالی است که بررسی نمودارهای راداری حاصل از نتایج مدل‌های Grayscale و RGB نشان می‌دهد میزان دقت به‌دست‌آمده حاصل از نتایج مدل در تعیین غلظت سطحی در ناحیه کم‌عمقی با ضریب کارایی $(CE=0.93)$ و ضریب تعیین $(R^2=0.95)$ بیشتر از بخش‌های مختلف منطقه خیزاب ساحلی است و این موضوع با این امر که در این مناطق میزان برهم‌خوردگی آب با رسوبات بستر به‌واسطه تلاطم‌های ناشی از چرخابه‌های شکل‌گرفته بر اثر شکست موج در ترکیب با تغییرات سرعت جریان در ستون آب به‌واسطه برهم‌کنش‌های موج و جریان، افزایش می‌یابد، مطابقت دارد.

۴- مقایسه نتایج ارائه‌شده در نمودارهای راداری از نظر میزان دقت مدل‌ها در پیش‌بینی غلظت در بخش‌های مختلف منطقه خیزاب ساحلی نشان می‌دهد دقت نتایج در منطقه بیرونی خیزاب ساحلی از منطقه درونی خیزاب بیشتر است که این امر با ایجاد منطقه کف‌آلود صورت ساحل در اثر هجوم موج بر وجه ساحل مرتبط است که منجر به کاهش دقت تصاویر برداشت‌شده در منطقه درونی خیزاب ساحلی می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی برای در اختیار قرار دادن فلولم آزمایشگاهی جهت انجام آزمون‌های مختلف این پژوهش، تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

مراجع

- different mechanisms. Coastal Engineering Journal. 2007; 49(4): 357–92.
- [16] Sleath JFA. The Suspended of Sand by Waves. J. Hydraul. Res. 1982; 20: 439–51.
- [17] Nielsen P. Suspended Sediment Concentrations under Waves. Coastal Engineering, Elsevier. 1986; 10: 23–31.
- [18] Nielsen P. Three Simple Model of Sediment Transport. Coastal Engineering, Elsevier. 1988; 12: 43–62.
- [19] Shibayama T, Rattanapitikon W. Vertical distribution of suspended sediment concentration in and outside surf zone. Coastal Engineering in Japan. 1993; 36(1): 49–65.
- [20] Rattanapitikon W, Shibayama T. Suspended Sediment Concentration Profiles under Non-breaking and Breaking Waves. Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering, ASCE; 1994: 2813–27.
- [21] Nielsen P. Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport. In Advanced Series on Ocean Engineering; World Scientific Publishing; Singapore. 1992; 4: 1-131.
- [22] Okayasu A. Characteristics of Turbulence Structure and Undertow in Surf Zone [PhD thesis]. University of Tokyo, Japan; 1989.
- [23] Thornton EB, Guza R. Transformation of wave height distribution. Journal of Geophysical Research. 1983; 88: 5925–83.
- [24] Sato S, Homma K, Shibayama T. Laboratory Study on Sand Suspension due Breaking Waves. Coastal Engineering in Japan, JSCE. 1990; 33(2): 219–31.
- [25] Rubey WW. Settling Velocities of Gravel, Sand and Silt Particles. American Journal of Science. 1933; 25: 325–38.
- [26] Hwang C, Tsai L, Lin P, Tsai C. Studies on the Suspended Concentration in the Surf Zone. 25th International Conference on Coastal Engineering; 1996 (83). p.4088–97.
- [27] Gonzalez RC, Woods RE. Digital Image Processing. Third Edition, USA: Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.; 2006.
- [28] Gonzalez JC, Salazar ODC. Image Enhancement with Matlab Algorithms. Blekinge Institute of Technology Department of Applied Signal Processing SE-371 79, Karlskrona Sweden; 2016. p.1–51.
- [29] Westland S, Cheung V. RGB Systems, in Handbook of Visual Display Technology, Chen J, Cranton W and Fihn M (eds.), Springer-Verlag; 2012. p. 147-54.
- [30] Plataniotis KN, Venetsanopoulos AN. Color Image Processing and Applications. Springer-Verlag, Berlin; 2000.
- [1] Jackson DWT, Short A. Sandy Beach Morphodynamics. Elsevier, Amsterdam; 2020. p. 104.
- [2] Chang CK, Hwang CH. Studies on Wave, Current and Suspended Sediment Characteristics at the Surf Zone. Coastal Dynamics'95, ASCE; 1995. p. 728–38.
- [3] Ifuku M, Kakinuma T. Suspended sediment concentration in the surf zone. In: 21th ICCE, Chap23, ASCE; 1988. p. 1661–75.
- [4] Castelle B, Scott T, Brander RW and McCarroll RJ. Rip current types, circulation and hazard; Earth Sci. Rev. 2016; 163:1–21.
- [5] Safari M, Mansoury D, Azarmsa SA. Grain-size characteristics of seafloor sediment and transport pattern in the Caspian Sea (Nowshahr and Babolsar coasts). International Journal of Coastal Offshore Engineering. 2022; 7(1): 34-42.
- [6] Mansoury D. An investigation of sediments grain size in the coastal area of Noor. Research in Marine Sciences. 2018; 3(1): 259-68.
- [7] Pilotti M, Menduni G, Castelli E. Monitoring the inception of sediment transport by image processing techniques. Experiments in Fluids. 1997; 23:202–8.
- [8] Pina P, Lira C. Sediment image analysis as a method to obtain rapid and robust size measurements. Journal of Coastal Research. 2009; (SPEC. ISSUE 56): 1562-6.
- [9] Vangla P, Latha GM. Influence of Particle Size on the Friction and Interfacial Shear Strength of Sands of Similar Morphology. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering. 2015; 1:6.
- [10] Shin B, Kim KH. Analysis of wave-induced current using digital image correlation techniques. Journal of Sensors. 2018; 1-6.
- [11] Bejestan MS, Nouroozpour S. Use of image processing technique to estimate sediment concentration. Journal of Applied Sciences. 2007; 7(20): 3096–100.
- [12] Kang W, Lee K, Kim J. Prediction of Suspended Sediment Concentration Based on the Turbidity–Concentration Relationship Determined via Underwater Image Analysis. Applied Sciences. 2022; 12, 6125.
- [13] Maciel D, Novo E, Sander De Carvalho L, Barbosa C, Flores Júnior R, de Lucia Lobo F. Retrieving total and inorganic suspended sediments in Amazon floodplain lakes: A multisensor approach. Remote Sensing. 2019; 11(15).
- [14] Pereira FJS, Costa CAG, Foerster S, Brosinsky A, de Araújo JC. Estimation of suspended sediment concentration in an intermittent river using multi-temporal high-resolution satellite imagery. Int J Appl Earth Obs Geoinformation. 2019; 79:153–61.
- [15] Jayaratne MPR, Shibayama T. Suspended sediment concentration on beaches under three

پی‌نوشت‌ها

1. Coastal zone
2. Shoaling region

3. Outer surf zone
4. Inner surf zone
5. Swash zone
6. Run-up
7. Beachface
8. Breaker point
9. Jaguaribe river
10. Long shore bar and trough
11. Turbulence motion
12. Sand ripples
13. Breaking waves
14. Time averaged sediment concentration
15. Falling velocity
16. Diffusion coefficient
17. Eddies
18. Vortices
19. Eddy viscosity of the flow
20. Shear
21. Energy dissipation
22. Lightness
23. Hue
24. Saturation
25. Chromaticity
26. Brightness
27. Value
28. Bed profiler system